

Conference Paper, Published Version

Schweighofer, Juha

Ökologische und ökonomische Betrachtungen zur Binnenschifffahrt am Beispiel der EU-Projekte MoVe IT! und PROMINENT

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104378>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schweighofer, Juha (2017): Ökologische und ökonomische Betrachtungen zur Binnenschifffahrt am Beispiel der EU-Projekte MoVe IT! und PROMINENT. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschifffahrtsstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 27-34.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Ökologische und ökonomische Betrachtungen zur Binnenschifffahrt am Beispiel der EU-Projekte MoVe IT! und PROMINENT

D. Sc. Juha Schweighofer, via donau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH

Einleitung

In unserer Welt spielt Umweltfreundlichkeit eine immer größere Rolle. Dies ist am besten durch die stets strenger werdende Umweltgesetzgebung und Einführung lokaler Umweltstandards demonstriert. Umweltfreundlichkeit stellt heutzutage eine der Grundvoraussetzungen für den Erhalt von Förderungen (z.B. Motorenförderung in Deutschland), Bereitstellung von Mitteln für die Verkehrsinfrastruktur und eventuell die Wahl eines Verkehrsträgers dar.

Die Binnenschifffahrt steht in Konkurrenz zur Schiene und zur Straße, die stetig abnehmende Emissionen bezogen auf die Transportleistung aufweisen. Die Binnenschifffahrt ist ein umweltfreundlicher Verkehrsträger. Unter den oben angeführten Kontext ist aber wohl die Frage zu stellen: „Kann es sich die Binnenschifffahrt leisten, nicht umweltfreundlicher zu werden?“ Die Antwort lautet wohl: „Nein.“ Im Folgenden werden kurz Maßnahmen erläutert, die zur Verbesserung der Umweltfreundlichkeit der Binnenschifffahrt beitragen. Betrachtet werden dabei die relevante Gesetzgebung und Standards, sowie die Ergebnisse der EU-Projekte MoVe IT! und PROMINENT.

Gesetzgebung und Standards

Mit der Veröffentlichung der Richtlinie 2009/30/EG wurde der Grundstein für eine Verbesserung des Umweltverhaltens der Binnenschifffahrt gelegt. Diese Richtlinie schreibt vor, dass ab 1.1.2011 in der Binnenschifffahrt der EU nur Kraftstoffe verwendet werden dürfen, die einen Schwefelgehalt aufweisen, der ≤ 10 mg/kg Kraftstoff ist (10 ppm). Der derzeit verwendete Kraftstoff ist also quasi schwefelfrei, wodurch die Schwefeldioxidemissionen verschwindend gering sind. Auch die Partikelemissionen konnten dadurch merklich reduziert werden. Zudem erlaubt dieser Kraftstoff die Anwendung von sehr effektiven Emissionsreduktionstechnologien z.B. die selektive katalytische Reduktion (SCR).

In der Verordnung (EU) 2016/1628 sind die Grenzwerte für Abgasemissionen neuer Motoren geregelt. Die Grenzwerte, die zu erfüllen sind, sind sehr streng, weshalb Emissionsreduktionstechnologien z.B. Abgasnachbehandlung durch selektive katalytische Reduktion und Partikelfilter wohl zur Anwendung kommen müssen. Erstmals ist auch ein Grenzwert für die Anzahl der Partikel PN einzuhalten (Motoren mit einer Leistung $P \geq 300$ kW). Die Grenzwerte der Verordnung (EU) 2016/1628 finden ab 1.1.2018 für die Typengenehmigung und ab 1.1.2019 für das Inverkehrbringen von Motoren Anwendung. Für leistungsstarke Motoren ($P \geq 300$ kW) gelten die Zeitpunkte 1.1.2019 (Typengenehmigung) und 1.1.2020 (Inverkehrbringen von Motoren). In der Tabelle 1 sind die entsprechenden Grenzwerte der Stufe V für Hauptmotoren angegeben. Für Hilfsmotoren gelten dieselben Zeitpunkte und Grenzwerte wie für Hauptmotoren.

Mittlerweile diskutiert die EU-Kommission auch freiwillige Umweltstandards, die auch auf bestehende Schiffe angewandt werden könnten. Derzeit gibt es solche in Belgien und den Niederlanden, deren Einhaltung durch den sogenannten Green Award gekennzeichnet ist. Schiffe die diesen Award haben können bis zu 30 % ermäßigte Hafengebühren bekommen. Ein weiteres Beispiel ist der Hafen Rotterdam, in dem ab 2025 nur Binnenschiffe zugelassen sind, deren Motoren mindestens der ZKR-Stufe II entsprechen.

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte der Stufe V für die Motorenklasse IWP (Hauptmotoren). Tabelle entnommen der Verordnung (EU) 2016/1628.

Emissionsstufe	Motorenunterklasse	Leistungsreich	Art der Zündung	CO	HC	NO _x	PM Masse	PN	A
		kW		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	#/kWh	
Stufe V	IWP-v-1 IWP-c-1	$19 \leq P < 75$	alle	5,00	$(HC + NO_x \leq 4,70)$		0,30	—	6,00
Stufe V	IWP-v-2 IWP-c-2	$75 \leq P < 130$	alle	5,00	$(HC + NO_x \leq 5,40)$		0,14	—	6,00
Stufe V	IWP-v-3 IWP-c-3	$130 \leq P < 300$	alle	3,50	1,00	2,10	0,10	—	6,00
Stufe V	IWP-v-4 IWP-c-4	$P \geq 300$	alle	3,50	0,19	1,80	0,015	1×10^{12}	6,00

MoVe IT!

Die oben angeführten Grenzwerte gelten für neue Motoreneinbauten, deren Zahl pro Jahr sehr limitiert ist. Daher wird es wohl noch Dekaden dauern, bis der Großteil der europäischen Binnenschiffahrtsflotte diesen strengen Grenzwerten entspricht. Um das Umweltverhalten der Binnenschiffahrt zu verbessern, ist es zielführend auch die bestehende Flotte zu betrachten und Maßnahmen zu setzen, die auf bestehende Schiffe angewandt werden können. Dies war das Ziel des FP7-EU-Projekts MoVe IT!⁶. Die Kernergebnisse für praktische Anwendung durch z.B. Schifffahrtstreibende sind in den Guidelines zusammengefasst, die von der Projektwebseite runtergeladen werden können. Unter anderem wurden in MoVe IT! fünf konkrete Schiffe betrachtet, deren Betriebsdaten wie Transportleistung und Kraftstoffverbrauch durch die jeweiligen Schifffahrtstreibenden dem Projekt zur Verfügung gestellt wurden. Dieser Umstand erlaubte es, eine umfassende Umweltanalyse der Schiffe mit einem Minimum an Fehlerquellen durchzuführen.

In der Umweltanalyse wurden die CO, CO₂, HC, SO₂, NO_x und Partikelemissionen (PM) betrachtet. Die Emissionen der Schiffe wurden mit jenen eines 34–40 t Sattelzugs verglichen, wobei die ursprüngliche Umweltanalyse um den Einfluss der Staubaufwirbelung und des Abriebs der Reifen und Bremsen des Sattelzugs erweitert wurde.

⁶ <http://www.moveit-fp7.eu/>

Die ursprüngliche Umweltanalyse findet sich in Schweighofer et al. (2013). Der Einfluss der Staubaufwirbelung und des Abriebs der Reifen und Bremsen wurde mit folgendem Emissionsfaktor aus Düring und Lohmeyer (2011) berücksichtigt: $PM_{10} = 130 \text{ mg/km}$ ($PM_{2.5} = 55 \text{ mg/km}$). Dieser Faktor wurde zum Emissionsfaktor des Abgases aus dem HBEFA 3.1 (2010) addiert. Die komplette Analyse ist in Schweighofer (2015) dokumentiert.

Die Umweltanalyse ergibt für die CO_2 -, CO -, SO_2 - und Partikelemissionen der betrachteten Schiffe bezogen auf die Transportleistung in tkm deutlich niedrigere Werte als jene, die für den umweltfreundlichsten Sattelzug (EURO VI) ermittelt wurden. Die Partikelemissionen im Abgas des Sattelzuges sind verschwindend gering, jedoch der Beitrag durch Aufwirbelung von Staub und Abrieb ist so hoch, dass die Gesamtemissionen merklich über jenen der Binnenschiffe liegen (Bild 1). Daher wird darauf hingewiesen, dass für einen ordnungsgemäßen Verkehrsträgervergleich auch der Einfluss von Aufwirbelung und Abrieb zu berücksichtigen ist. Durch die Anwendung eines Partikelfilters können die Partikelemissionen der Schiffe grob auf das Niveau der Abgaspartikelemissionen eines EURO VI Sattelzuges gesenkt werden (siehe Veerhaven X im Bild 1).

Nur die NO_x und HC-Emissionen fallen für die Binnenschiffe höher aus, wobei durch Anwendung von entsprechenden Katalysatoren (u.a. SCR) die Binnenschiffe auf ein ähnliches Niveau hinsichtlich dieser Emissionen gebracht werden können.

Die oben angeführten Ergebnisse gelten nur für die betrachteten Schiffe. Für andere Schiffe, im Besonderen für kleinere und ältere Schiffe, kann das Ergebnis anders ausfallen.

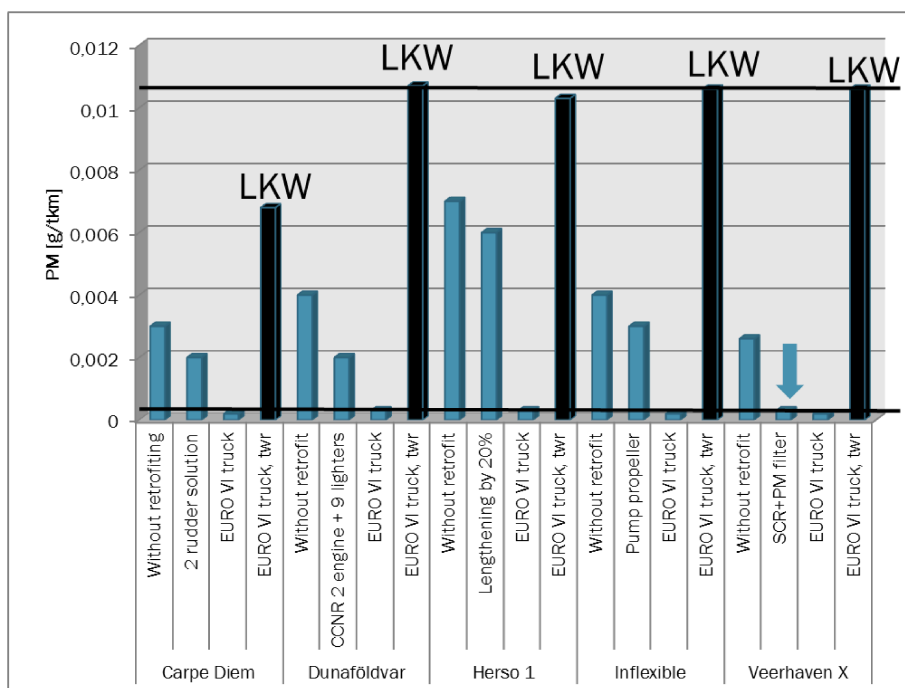


Bild 1: Partikelemissionen in g/tkm von fünf Binnenschiffen des MoVe IT!-Projekts verglichen mit jenen eines Sattelzugs (34 – 40 t) unter Berücksichtigung von Staubaufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs (PM_{10}).

In Tabelle 2 ist eine Beurteilung von potentiellen Umrüstungsmaßnahmen der fünf MoVe IT!-Schiffe hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Verbesserung des Umweltverhaltens dargestellt.

Wirtschaftlich sehr sinnvolle Maßnahmen mit einer guten Verbesserung des Umweltverhaltens sind der Einbau von neuen Motoren verbunden mit einer Kapazitätserweiterung durch Leichter und Kapazitätserweiterung durch Schiffsverlängerung. Dies gilt für die konkreten MoVe IT!-Schiffe.

Im H2020-EU-Projekt PROMINENT wurde die Kapazitätserweiterung von einer weiteren Untersuchung ausgeschlossen, da der Markt an sich schon über Überkapazitäten verfügt.

Der Einbau von SCR-Katalysatoren und Partikelfiltern hat den größten Umwelteffekt. Diese Maßnahme ist aber für den Schifffahrtstreibenden nicht wirtschaftlich sinnvoll, da neben den hohen Investitionskosten auch erhöhte Betriebskosten durch Wartung sowie Harnstofflösungs- und erhöhte Kraftstoffverbräuche entstehen. Im Gegensatz zum Schifffahrtstreibenden profitiert aber die Bevölkerung von dieser Maßnahme in großem Maße. Die Anwendung von selektiver katalytischer Reduktion und Partikelfiltern auf alle Motoren der heutigen Binnengüterschiffahrtsflotte der EU würde eine Senkung der externen Kosten im Ausmaß von etwa 1.5 Milliarden Euro / Jahr bewirken. Es sei angenommen, dass die EU-Güterschiffflotte aus ca. 10 000 motorisierten Einheiten besteht. Dann könnte man mit der oben erwähnten einmaligen Senkung der externen Kosten den Einbau eines SCR-Katalysators und eines Partikelfilters für jedes Schiff mit 150 000 Euro fördern. Unter der Voraussetzung, dass alle Schiffe umgerüstet sind und die Maßnahmen sofort greifen, würde die Gesellschaft nach nur einem Jahr 1.5 Milliarden Euro Gewinn pro Jahr machen, was volkswirtschaftlich Sinn macht, plakativ gesagt. Für weitere Details siehe Schweighofer et al. (2013).

Tabelle 2: Beurteilung von Umrüstungsmaßnahmen der fünf MoVe IT!-Schiffe hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Verbesserung des Umweltverhaltens.

	Umrüstungsmaßnahme	Wirtschaftlich sehr sinnvoll	Wirtschaftlich noch überle- genswert	Wirtschaftlich nicht sinnvoll	Verbesserung des Umwelt- verhaltens
Schubschiff (Donau)	Entfernung von den Propellern vorangestellten Rudern + Einbau eines Bugstrahlruders	+			+
	Neue Motoren + Kapazitätserweiterung von 6 Leichtern auf 9 Leichter	+			++++
Johann Welker (L = 84.95 m, Donau)	Kapazitätserweiterung durch Schiffsverlängerung um 20 %	+			++
	Verfüllung des Zwischenraums zwischen schiebendem Schiff und Leichter		+		+
	Einbau eines "Pump Propeller"		+		++
Schubschiff (Seine)	Einbau eines "Pump Propeller"		+		++
	Austausch der Ruder		+		+
	Entfernen von Streben an Propellerdüsen			+	+
Schubschiff (Rhein)	Einbau von SCR-Katalysatoren und Partikelfiltern			+	+++++
Containerschiff (L = 110 m, Umgebung Rotterdam)	2 - Ruderlösung			+	+
	Verkürzung der Gondeln im Hinterschiff			+	+

PROMINENT

Auch in dem H2020-EU-Projekt PROMINENT⁷ steht die Verbesserung des Umweltverhaltens der Binnenschifffahrt im Mittelpunkt. Hier setzt man auf die Entwicklung von standardisierten technischen Lösungen, die zeitnah und kostengünstig auf einen Großteil der europäischen Flotte angewandt werden können.

PROMINENT setzt auf folgende Schwerpunkte:

- Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion von Abgasemissionen;
- Zertifizierung und Monitoring von Energieverbrauch und Abgasemissionen;
- Harmonisierung und Modernisierung fachspezifischer Qualifikationen und Standards;
- verstärkte Einbindung der Binnenschifffahrt in Transportketten.

Die ersten Projektaktivitäten umfassten die Ausarbeitung und Bewertung einer sehr großen Anzahl von verschiedenen Technologien, die zur Verbesserung des Umweltverhaltens der Binnenschifffahrt beitragen können. Unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien hinsichtlich der Verbesserung des Umweltverhaltens, Kosten und Anwendbarkeit konnten die gewonnenen Ergebnisse in eine sogenannte Shortlist von Maßnahmen mit gutem Potential zur Verbesserung des Umweltverhaltens der Binnenschifffahrt überführt werden (Tabelle 3).

Die entsprechende Untersuchung ist in Maierbrugger et al. (2015) dokumentiert. Die in Tabelle 3 angeführten Maßnahmen werden derzeit in PROMINENT weiter untersucht und ausgearbeitet.

Tabelle 3: Shortlist von Maßnahmen zur Verbesserung des Umweltverhaltens der Binnenschifffahrt, ausgearbeitet im H2020-EU-Projekt PROMINENT (Maierbrugger et al 2015). Bezug der Emissionsreduktion auf Motor der Stufe ZKR II.

Art der Maßnahme	Bereich	Maßnahme	NO _x	PM	CO ₂ allein	THG (CO ₂ & CH ₄)	Anwendbarkeit auf Flotte	Wirtschaftliche Machbarkeit (Schiffahrts-treibender)	Technische Reife	Nichttechnische Reife (Barrieren)
			%	%	%	%	% des Kraftstoffverbrauchs in Europa	+++ / - - -	TRL	+++ / - - -
Schiffsbezogene technische Maßnahmen	Kraftstoffe, Standardlösungen	Anwendung von blossem LNG (verflüssigtes Erdgas) - Funkenzündung	70-80	up to 95	20-25	0-10	10 - 50%	++	6	---
		Anwendung von dualen Kraftstoffen (LNG und Diesel)	50-65	50-90	20-25	0-10	10 - 50%	++	6	--
		Anwendung von Gas-to-Liquid (GTL)	10	20	0	0	> 50%	-	9	0
	Antriebssystem, Standardlösungen	Selektive katalytische Reduktion (SCR)	70-90	0-20	≈ 0	≈ 0	10 - 50%	--	8	-
		Dieselpartikelfilter	0	90	≈ 0	≈ 0	10 - 50%	---	7	-
		Kombination SCR und Partikelfilter	80-90	90	≈ 0	≈ 0	10 - 50%	---	7	-
		Ersatz des Dieselmotors der ZKR Stufe I durch einen Motor der ZKR Stufe II	15-35	40-60	0	0	> 50%	0/-	9	0
		Ersatz des Dieselmotors durch einen Motor der EU Stufe V	65	80-90	0	0	> 50%	-	5	--
		Der Anwendung entsprechende Leistung	0-10	0-10	0-10	0-10	100%	++	9	0
		Diesel-Hybridantr. (ohne Pufferbatt.)	0-10	0-10	0-10	0-10	10 - 50%	+	9	0
		Diesel-Hybridantr. (mit Pufferbatt.)	0-10	0-10	0-10	0-10	10 - 50%	+	9	0
Infrastruktur	Wasserstraßeninformationen	Echtzeitinformationen zur Fahrinne	14 (3-25)				>50%	+	5/7	-
Schiffsbetriebliche Maßnahmen	Fahrverhalten	Anpassung der Schiffsgeschwindigkeit					>50%	+	5	-
		Optimierte Wahl der Schiffsroute					>50%	+	5	-

⁷ <http://www.prominent-iwt.eu/>

Die Anwendung von verflüssigtem Erdgas (LNG) hat einen sehr großen positiven Effekt auf die Abgasemissionen der Binnenschifffahrt. Ebenso wie bei der Verwendung von elektrischem Strom für den Antrieb ist aber auch hier die Frage zu stellen, woher kommt die Energie, wie wurde sie hergestellt. Erdgas, und im Übrigen auch Erdöl, kann durch sogenanntes Fracking gewonnen werden. Diese Maßnahme kann erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben und in der Gesamtbilanz den positiven Effekt auf die Abgasemissionen der Binnenschifffahrt schmälern oder zunichte machen. Die wirtschaftliche Machbarkeit von der Verwendung von LNG wurde sehr positiv bewertet, da zum Zeitpunkt der relevanten Untersuchungen, der prognostizierte Unterschied zwischen LNG-Preis und Gasölpreis relativ groß war und eine Amortisation der Investition in einer angemessenen Zeit erwartet werden konnte. Die tatsächliche wirtschaftliche Machbarkeit dieser Maßnahme hängt u.a. von dem tatsächlich auftretenden Preisunterschied zwischen LNG und Gasöl ab. In Kelderman et al. (2017) ist eine sehr ausführliche Kosten/Nutzen-Analyse hinsichtlich der Anwendung von LNG für eine große Anzahl von verschiedenen Binnenschiffen und drei Preisentwicklungsszenarien beschrieben. Zusammengefasst kommt man zum Schluss, dass LNG für große Schiffseinheiten mit einem signifikanten Kraftstoffverbrauch pro Jahr, z.B. Schubschiffe als Neubauten, wirtschaftlich Sinn machen kann, was bedeutet, dass die Investitionskosten über reduzierte Kraftstoffkosten unter den getroffenen Annahmen zurückverdient werden können. Die Anwendung von selektiver katalytischer Reduktion und Partikelfilter auf bestehende Maschinenanlagen hat einen sehr großen positiven Umwelteffekt. Jedoch die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme wurde als negativ beurteilt, da dem Schifffahrtstreibenden nur Kosten entstehen und er per Gesetz seine bestehende Anlage nicht aufrüsten muss. Siehe auch die Ausführungen im Kapitel MoVe IT!. In PROMINENT wurde ein modulares SCR-Partikelfiltersystem entwickelt, welches bei einer voraussichtlich merklichen Reduktion der Herstellungskosten (30 %) an die meisten gängigen Motoren angepasst werden kann, und welches in der Lage ist, die Emissionsgrenzwerte der EU-Stufe V einzuhalten. Nur hinsichtlich der Anzahl der Partikel PN kann man noch keine Aussagen machen.

Auch der Austausch eines ZKR-Stufe-I-Motors durch einen der ZKR-Stufe II hat einen sehr positiven Effekt auf das Umweltverhalten. Diese Maßnahme wurde auch als wirtschaftlich neutral bewertet, da die meisten Motoren sowieso ausgetauscht werden müssen, und der Einbau eines Motors der EU-Stufe V teurer käme. Diese Maßnahme ist aber nur noch sehr kurze Zeit bis 2019/20 möglich.

Der Einbau eines EU-Stufe-V-Motors hat einen größeren positiven Umwelteffekt als die vorherige Maßnahme und ist ab 2019/20 für Neueinbauten laut Verordnung (EU) 2016/1628 vorgeschrieben.

Die Zurverfügungstellung von umfassenden Echtzeitinformationen zur Fahrrinne, wie Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit, können zur Optimierung der Abladung eines Schiffes und seiner Route in der Fahrrinne beitragen. Zudem können entsprechende Werkzeuge zum energieeffizienten Fahren entwickelt werden, die dem Schiffsführer z.B. eine Empfehlung für eine wirtschaftliche Geschwindigkeit oder Motorendrehzahl geben. Weiters kann die Ermittlung von Echtzeitinformationen zur Fahrrinne der betroffenen Wasserstraßenverwaltung sehr wertvolle Hinweise hinsichtlich notwendiger Wartungsarbeiten geben, wovon dann alle Schifffahrtstreibenden profitieren. Die Ausarbeitung eines Werkzeugs zum energieeffizienten Fahren und die Nutzung von Messungen von Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit an Bord von kommerziellen Schiffen sind wichtige Bestandteile des H2020-EU-Projekts PROMINENT.

Zusammenfassung

Im Umfeld stetig steigender Anforderungen an das Umweltverhalten der Verkehrsträger befindet sich die Binnenschifffahrt im Umbruch. Auf Grund der bestehenden Gesetzgebung fährt die Binnenschifffahrt heute quasi schwefelfrei und morgen quasi frei von Abgasemissionen mit verringerten Treibhausgasemissionen. Neue Schiffe werden einen Quantensprung nach vorne in Bezug auf ihr Umweltverhalten machen. Eine große Herausforderung in der nahen Zukunft wird sein, wie man die Umweltfreundlichkeit der bestehenden Flotte steigern kann. Mögliche Maßnahmen dazu sind die Schaffung von attraktiven finanziellen Anreizen, Entwicklung von kostengünstigen technischen Maßnahmen sowie unbürokratische Zertifizierung und behördliche Anerkennung der Umrüstungsmaßnahmen.

Die erzielten Fortschritte hinsichtlich Gesetzgebung, Standards und technischer Entwicklungen basieren auf den Erkenntnissen zahlreicher Forschungsprojekte und Untersuchungen. Die Binnenschifffahrt ist noch mit vielen Herausforderungen wie z.B. Umrüstung der bestehenden Flotte, Steigerung der Energieeffizienz sowie Anwendung von alternativen Kraftstoffen und Antriebssystemen konfrontiert.

Für eine erfolgreiche Bewältigung dieser Herausforderungen sind entsprechende geförderte Forschungsprojekte notwendig, deren Ergebnisse in neue Vorschriften und Standards, administrative und finanzielle Rahmenbedingungen sowie technische und infrastrukturelle Lösungen übergeführt werden können.

Literatur

Düring, I., und Lohmeyer, A. (2011): Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul unter Mitarbeit der TU Dresden sowie der BEAK Consultants GmbH. Projekt 70675-09-10, Juni 2011. Gutachten im Auftrag von: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

HBEFA 3.1 (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 3.1, www.hbefa.net, INFRAS, Schweiz.

Kelderman, B. et al. (2017): D2.6 Ex-ante cost/benefit analysis of business cases for standard LNG Configurations. Technischer Bericht. H2020-EU-Projekt PROMINENT.

Maierbrugger, G. et al. (2015): D 1.2 List of best available greening technologies and concepts. Technischer Bericht. H2020-EU-Projekt PROMINENT.

Schweighofer, J. (2015): Comparison of emissions of inland waterway transport with the ones of road transport, considering tear, wear and re-suspension of dust. Technischer Bericht. viadonau. Vertraulich.

Schweighofer, J. et al. (2013): D7.3 Environmental impact. Technischer Bericht des EU-Projekts MoVe IT!.

